

Zdeněk KALÁB¹

VIBRAČNÍ PROJEVY V HISTORICKÉM DOLE JERONÝM

VIBRATION EFFECTS IN THE JERONÝM MINE

Abstrakt

Príspevok popisuje hodnotenie seizmického zaťaženia na príklade historického Dolu Jeroným. K tomu je využito experimentálneho merania seizmickou aparaturou umiestnenou v podzemí. Záznamy naměřené touto stanicí lze rozdělit do následujících skupin: přirozená seizmicita (mikrozemětřesení ze západních Čech a části vzdálených intenzivních zemětřesení) a technická seizmicita (trhací práce realizované při rekonstrukci dědičné štoly a v blízkých okolních lomech, doprava na silnici nad důlním dílem).

Klíčová slova

Zemětřesení, Kraslicko, technická seizmicita, seizmické zatížení, historický Důl Jeroným.

Abstract

This contribution deals with evaluation of seismic loading of medieval mine named Jeroným. Experimental seismological measurement using seismic recorder located in underground space is used for this purpose. Recorded seismic events can be divided into following types: natural seismicity (microearthquakes from West Bohemia and parts of distant intensive earthquakes) and technical seismicity (blasting operations – during reconstruction of the adit and in adjacent quarries, traffic – on road above the mine).

Keywords

Earthquake, Kraslice area, technical seismicity, seismic loading, medieval Mine Jeroným.

1 ÚVOD

Historický Důl Jeroným v Čisté představuje velmi významný doklad o středověkém rudném hornictví. V knize „1000 let hornictví ve Slavkovském lese“ (Beran et al., 1995) je uváděna řada těžebních lokalit z bližšího i vzdálenějšího okolí, do současné doby však zůstaly zachovány pouze výše citované důlní prostory. V nich lze dodnes nalézt ukázky ručního dobývání ložiska, různé typy dobývek, pilířů, sázení ohněm a další příklady činnosti středověkých horníků. V části nazývané Stará důlní díla byla těžba ukončena již ve středověku, v části Opuštěná důlní díla byla těžba sporadicky obnovována až do likvidace dolu v období po 2. světové válce. Celý komplex důlních děl byl v roce 2008 prohlášen národní kulturní památkou. Ucelenější souhrn historie, geologických a geomechanických informací a též výsledků již déle než desetiletí geomechanického monitoringu v této lokalitě lze nalézt v literatuře, např. Žůrek et al. (2008), Tomíček (2010) a také monotematické číslo časopisu *Exploration Geophysics, Remote Sensing and Environment* (EGRSE 1/2011).

Důl Jeroným dnes představuje složitou strukturu štol, šachtic a komor v nejméně třech výškových úrovních. Dlouhodobé působení větrané či nevětrané důlní atmosféry, jakož i protékající

¹ Prof. RNDr. Zdeněk Kaláb, CSc., Katedra geotechniky a podzemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 381, e-mail: zdenek.kalab@vsb.cz.

a stojatá voda v důlních prostorách způsobily zvětrání „obnažených“ hornin. Na horninový masiv působily a působí také další negativní faktory z hlediska stability důlních prostor, proto jsou některé části považovány za dlouhodobě nestabilní (podle Žurek et al., 2001). Jedním z vnějších činitelů, který může mít negativní vliv na horninový masiv, jsou vibrace vyvolané zemětřeseními nebo umělými zdroji. Seismologický monitoring v důlním díle byl spuštěn po zahájení rekonstrukce dědičné štol v roce 2004. Součástí ražební technologie bylo také používání trhacích prací. Tyto práce byly při posuzování seismického zatížení důlního díla vyhodnoceny jako rizikový faktor (např. Kaláb, 2003).

Posuzování seismického zatížení objektů se v České republice hodnotí podle Eurokódu 8 v případě zatížení objektu přirozenou seismicitou, resp. podle ČSN 73 0040 pro technickou seismicitu. Tabulka tříd odolností objektů řadí podzemní objekty do odolnostních tříd C až F, přičemž třída C představuje keramické a kamenné obklady a dlažby v podzemních objektech metra, v podchodech, ..., třída D reprezentuje cihelné, kamenné a tvárnice vyzdívky v podzemních objektech. Obě tyto normy však uvažují pouze stavební konstrukce, pro hodnocení netypických konstrukcí, např. důlní prostory, se navrhuje provedení experimentálního měření a na základě výsledků stanovení přípustných hodnot vibrací pro jednotlivé stupně poškození. Přípustné hodnoty se pro konkrétní situaci určují inženýrským odhadem, přičemž za základ je považována hodnota z normy zmenšená násobným koeficientem, který vychází z výsledků experimentálního měření (např. z nalezených poškození objektu, poškození terčíků ...). Tento koeficient zahrnuje také vlivy jako je stáří objektu, náchylnost sledovaného prvku k rezonančnímu kmitání a další. Na příkladu více než 400 let starého důlního díla jsou v tomto článku představeny různé zdroje vibrací a jejich projev v důlním díle.

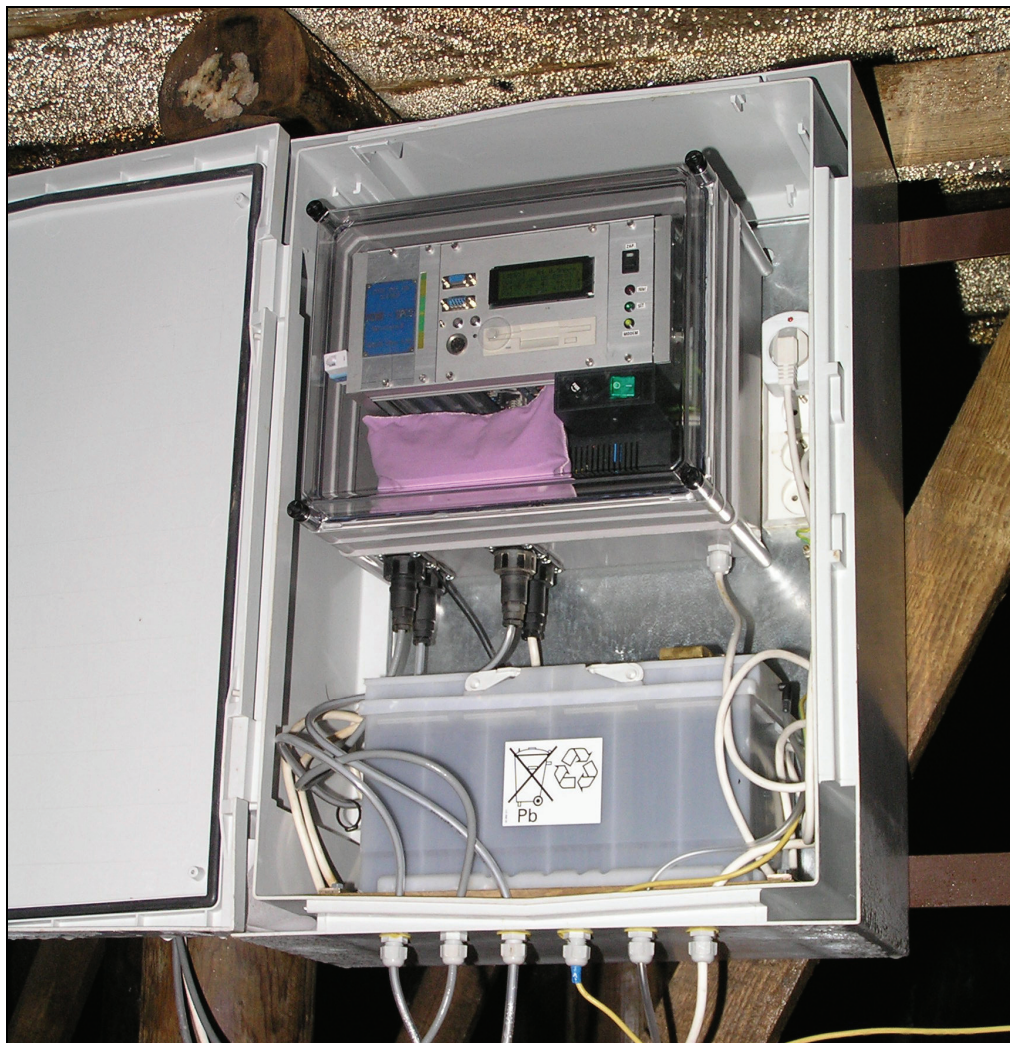
2 SEISMOLOGICKÁ APARATURA

V Ústavu geoniky AV ČR, v.v.i., byla pro instalaci na lokalitě Jeroným vyvinuta registrační seismologická aparatura PCM3-EPC3 s vysokým krytím IP64 pro umístění v důlní prostora s vysokou vlhkostí vzduchu (např. Kaláb et al., 2006). Tato aparatura koncepčně vychází z aparatur PCM3-EPC2, které jsou popsány v práci Knejzlík a Kaláb (2002); jde tedy o tříkanálový číslicový zapisovač se spouštěným záznamem dat v PC. Spouštění záznamu je vyvoláváno překročením sledované amplitudy seismického signálu přes nastavenou komparační úroveň. Každý seismický jev je zaznamenán jako samostatný datový soubor. Časová základna aparatury je synchronizována časovým normálem DCF.

S využitím komunikačního programu pcAnywhere fy Symantec je vyřešen vzdálený přístup přes sériový port (a vhodný modem) do vestavěného PC v registrační aparatuře. Na stanici v Dole Jeroným je použit GSM modem Siemens TC35 Terminal. Vzdálený přístup do PC umožňuje především operativní kontrolu funkčnosti aparatury, což je na vzdáleném stanovišti složitý problém, a také telemetrický přenos zaregistrovaných seismických dat (po rozšíření o distribuovaný systém v roce 2006 se také přenáší soubory naměřených geomechanických dat, např. Knejzlík, 2006, Knejzlík a Rambouský, 2008).

Při konstrukci seismologické aparatury bylo v maximální míře používáno obvodů CMOS, aby bylo dosaženo co nejnižší spotřeby napájecího proudu a tedy prodloužení doby funkce ze záložní baterie. Také jako PC je použit nejjednodušší jednodeskový počítač PCM3864 firmy Advantech. Jako hard disk je použita Compact Flash karta 512 MB. Tím bylo dosaženo příznivé spotřeby energie cca 20 W, což je výhodné nejen z hlediska záložního napájení, ale i z hlediska oteplení při vysokém krytí.

Pro spolehlivý provoz registrační aparatury na vzdálené stanici je důležitá dostatečná kapacita záznamového média, co nejdelší doba funkce ze záložního zdroje napájení a hlavně automatický start při obnovení napájení po úplném vybití záložního napájecího zdroje nebo po zastavení běhu řídicího programu. Důležitá je také ochrana proti účinkům atmosférické elektřiny. Proto jsou síťový přívod a všechny vstupy a výstupy registrační aparatury vybaveny transientními přepětovými ochranami a anténní svod GSM modemu koaxiální bleskojistkou.



Obr. 1: Seizmologická aparatura PCM3-EPC3 se záložní baterií ve dvojité vodotěsné skříni

Seizmologická registrační aparatura byla v dole uvedena do trvalého provozu v červnu v roce 2004 (obr. 1). Zesilovače seizmického signálu mají mezní frekvenci 60 Hz, vzorkovací frekvence analogově-číslicového převodu je nastavena na 250 Hz. Rozsahy měření lze nastavit od 0,25 mm/s do 32 mm/s v binárních stupních a nastavuje se podle aktuální situace. Zpravidla je využíván nejnižší rozsah, aby byly dostatečně vzorkovány i nejslabší seizmické jevy. Rozsah je upravován při očekávaném zvýšeném zatížení lokality technickou seismicitou nebo po vzniku seizmického roje v nedaleké kraslické oblasti. K aparatuře je připojena trojice jednosložkových seismometrů SM3 v geografickém uspořádání (třísložkový záznam vlnového obrazu). Seismometry jsou ukotveny na betonový seizmický pilíř zhotovení v jedné z komor důlního díla cca 30 m pod povrchem (obr. 2). V době experimentálních měření seizmického zatížení jsou používány další autonomní stanice.



Obr. 2: Seizmometry SM3 na pilíři v důlním díle

3 ZEMĚTŘESNÁ AKTIVITA V OKOLÍ DOLU JERONÝM

Při stanovení seizmického zatížení lokality musíme vzít do úvahy všechny možné typy, tj. přirozenou lokální a vzdálenou seizmicitu a seizmicitu technickou (např. Kaláb, 2003). Nejbližší ohnisková oblast přirozených zemětřesení ke sledované oblasti lokality Dolu Jeroným v Čisté se nachází ve vzdálenosti přibližně 30 km severozápadním směrem (Kraslicko), ojedinělá ohniska jsou detekována i blíže. Mladé tektonické pohyby doprovázené vulkanickou činností ovlivnily geologickou stavbu tohoto regionu již během terciéru. I v současné době jsou v západních Čechách a v Německu detekována slabší zemětřesení, nejsilnější z nich jsou pocíťována lidmi, kteří zde žijí, nebo mohou poškodit budovy. Podle mapy seizmického ohrožení České republiky (příloha národního aplikačního dokumentu Eurokódu 8) lze v zemětřesné západočeské oblasti očekávat zemětřesení s makroseizmickou intenzitou 6° až $6,5^{\circ}$. Ve studované oblasti jsou dále detekována intenzivní evropská zemětřesení. Dokladované jevy pochází nejčastěji z alpských zemětřesných oblastí (Rakousko, Švýcarsko, Itálie), dále Slovinska a rýnské oblasti (Německo, Nizozemí). Tato zemětřesení, i s ohledem na blízkost kraslické zdrojové oblasti, zřejmě významně nepřispívají k seizmickému zatížení studované oblasti.

Je evidentní, že nejsilnější vibrační projevy lze očekávat z nedaleké kraslické oblasti. Doposud nejintenzivnější instrumentálně zaznamenané západočeské zemětřesné roje se vyskytly v roce 1908, kdy nejsilnější otřes dosáhl magnitudo 5,0 (stupeň 5 Richterovy škály). Ve druhé polovině 20. století došlo několikrát k oživení zemětřesné aktivity. Mezi intenzivnější zemětřesné roje, které byly pocíťeny místními obyvateli, patří roje z podzimu 1962, ze zimního období let 1985-86, dále roků 1997, 2000 a 2008. Nejintenzivnější otřes z 21. 12. 1985 měl podle Richterovy stupnice magnitudo 4,6. Nejsilnější zemětřesení způsobily škody i na budovách a vyvolaly paniku mezi obyvatelstvem (podle www.ig.cas.cz; Horálek et al., 2009, Fischer et. al., 2010).

Po dobu monitorování v Dole Jeroným bylo zaznamenáno několik projevů seizmické aktivity z kraslické oblasti. Největší změřený projev pochází ze zemětřesení vzniklých při seizmickém roji v roce 2008. Právě probíhající seizmický roj pravděpodobně nyní končí (září 2011).

3.1 Seizmický roj 2008

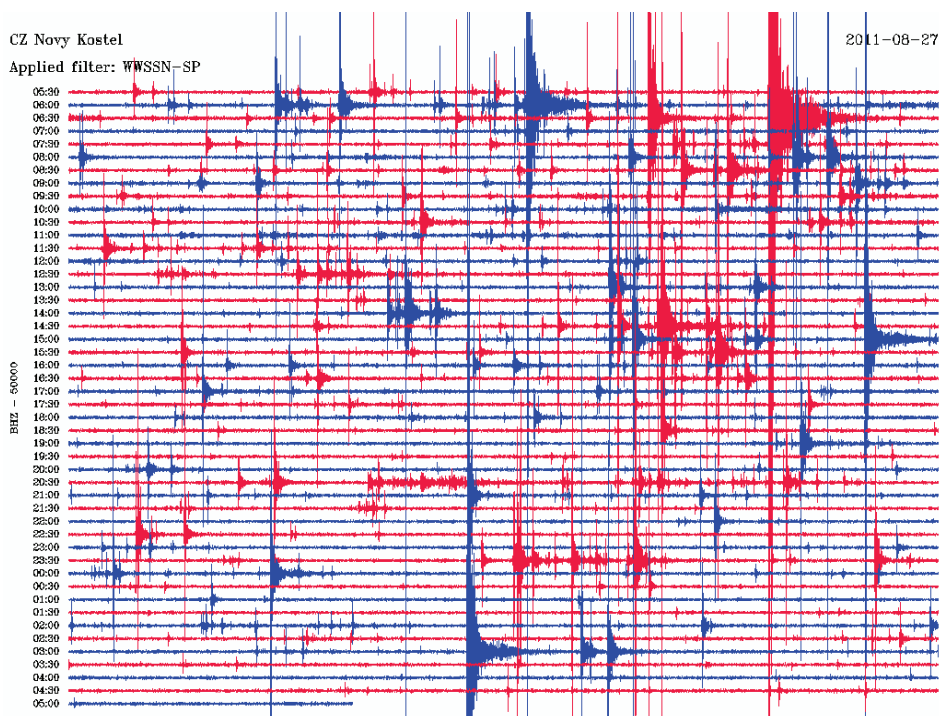
V roce 2008 bylo na seizmické stanici v důlním díle celkem realizováno ve spouštěném režimu 722 záznamů (podle Kaláb et al., 2011). Do 6. 10. 2008 můžeme seizmické zatížení posuzovat

jako nízké, situace se změnila po vzniku roje. Jednalo se o roj s epicentry v blízkosti obce Nový Kostel, ohniska zemětřesení byla lokalizována do hloubky okolo 10 km. Po vzniku zemětřesného roje významně vzrostl počet zaznamenaných seizmických jevů i seizmické zatížení důlního díla. Protože amplituda kmitání intenzivního zemětřesení z 9. 10. 2008 přesáhla aktuální maximální rozsah seizmické aparatury (tj. $0,25 \text{ mm.s}^{-1}$), byl rozsah aparatury zvýšen na $0,5 \text{ mm.s}^{-1}$. Nejsilnější zemětřesení s lokálním magnitudem 3,9 vzniklo 12. 10. v 9:44 SEČ a bylo pocíteno obyvateli i ve velké vzdálenosti od epicentra, např. na západě Prahy. Další silnější zemětřesení s lokálním magnitudem také 3,9 bylo 14. 10. v 21:01 SEČ a lokálním magnitudem 3,7 bylo zaznamenáno 28. 10. v 9:30 SEČ. Kromě toho mohlo být v epicentrální oblasti pocíteno dalších několik desítek otřesů s lokálními magnitudy většími než 2,0. Tento zemětřesný roj je nejsilnější zemětřesnou aktivitou v západních Čechách od roku 2000.

Na stanici v důlním díle bylo v období roje celkem zaznamenáno 451 zemětřesení. Nejintenzivnější projev od zemětřesení z popisovaného roje byl zaznamenán 14. 10. v 21:00 SEČ (např. Kaláb et al., 2011), při kterém složková hodnota rychlosti kmitání dosáhla $0,435 \text{ mm.s}^{-1}$ (max. zrychlení $43,7 \text{ mm.s}^{-2}$), vibrace trvaly cca 5 s. Maximální hodnoty byly pozorovány v krátkém časovém intervalu ve skupině S vln. Při kvartálním geomechanickém měření na podzim 2008 a na jaře 2009 nebylo při vizuální prohlídce dostupných důlních prostor zjištěno poškození následkem vibrací vyvolaných během výše popsaného seizmického roje (tj. větší opady, rozevření puklin, praskání pilířů, ...).

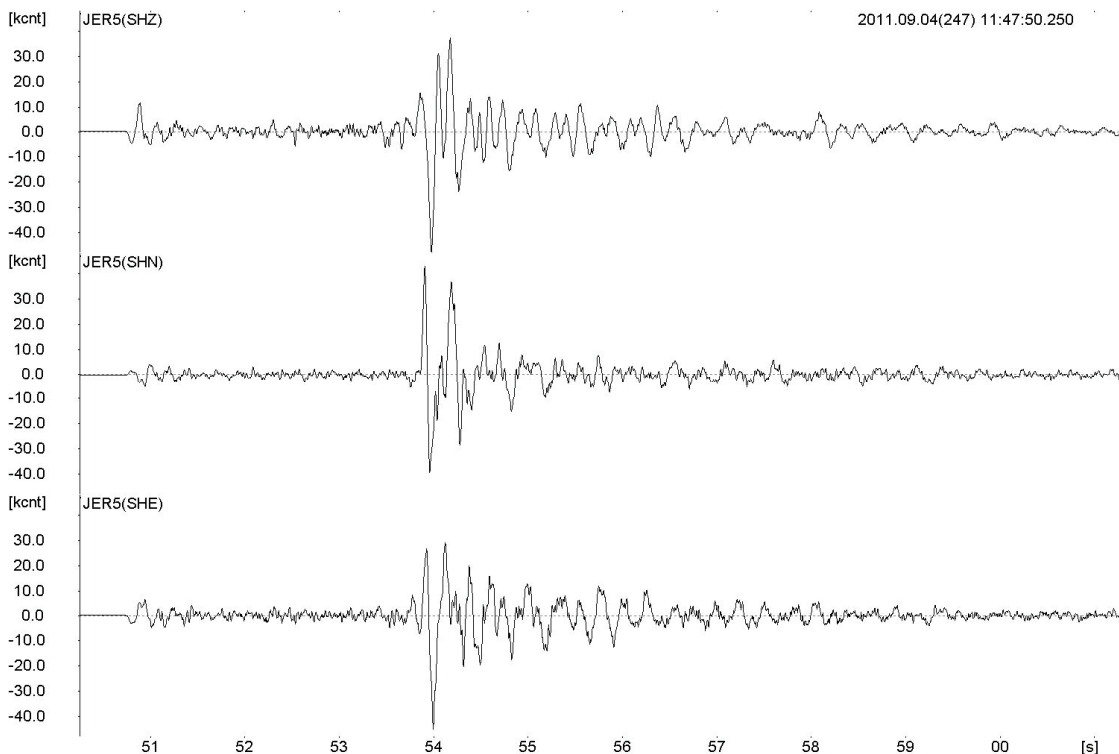
3.2 Seizmický roj 2011

Zatím poslední významná seizmická aktivita se objevila 23. srpna 2011 v oblasti Nového Kostela, seizmický roj aktuálně pravděpodobně končí (15.9.). Lokální síť Webnet bylo zaznamenáno několik tisíc zemětřesení, často vznikajících velmi rychle za sebou. Příklad časové posloupnosti jevů ze stránky „živých seizmogramů“ je na obr. 3. „Živé seizmogramy“ ukazují záznamy vertikální složky kmitání půdy na stanicích národní sítě (Geofyzikální ústav AVČR, v.v.i.). Modré a červené křivky se střídají po 30 minutách pro lepší přehlednost záznamu. Časy na "živých" seizmogramech jsou uváděny ve světovém čase (UTC).



Obr. 3: Příklad záznamu vertikální složky na stanici Nový Kostel z 27. 8. 2011, (www.ig.cas.cz)

Stanice v Dole Jeroným zaznamenala více než 800 jevů z tohoto roje. Maximální složková rychlost kmitání byla naměřena při záznamu jevu z 26. 8. 2011 v 01:33 (magnitudo 3,5, www.ig.cas.cz), naměřená hodnota rychlosti kmitání v dole nepřekročila maximální hodnotu z roku 2008. Příklad záznamu vlnového obrazu intenzivnějšího zemětřesení z tohoto seizmického roje je na obr. 4.



Obr. 4: Příklad záznamu vlnového obrazu intenzivnějšího zemětřesení ze stanice v důlním díle ze seizmického roje v roce 2011 (lokální magnitudo dle GfŮ AVČR Praha je 3,3); maximální amplituda rychlosti kmitání je $0,15 \text{ mm.s}^{-1}$ (v obrázku ve vzorkovacích úrovních)

4 TECHNICKÁ SEIZMICITA

Projevy technické seizmicity registrované v Dole Jeroným lze rozdělit do následujících typů: vibrační projevy během rekonstrukčních prací v důlním díle, odstřely v okolních povrchových lomech a projevy dopravy na silnici nad důlním dílem. Vibrační efekt těchto aktivit je malý a lze ho při posuzování seizmického zatížení historických důlních prostor víceméně zanedbat (výjimky viz níže). Maximální hodnoty rychlosti kmitání se zpravidla vyskytují v rozmezí řádů $10^{-3} - 10^{-2} \text{ mm.s}^{-1}$. Tyto hodnoty nepředstavují významnější zásah do stability důlních prostor (např. Kaláb et al., 2011).

Z pohledu seizmického zatížení bude třeba důsledně monitorovat velikosti vibrací vyvolaných při úpravách důlního díla a jeho okolí. Plánována je například prorážka štoly, která by měla propojit dva dnes oddělené podzemní komplexy. Tyto vibrace mohou nabývat i vyšších hodnot, a to především vibrace vzniklé při provádění trhavých prací. V roce 2003-2006 byla realizována rekonstrukce dědičné štoly, která vede na jih od historických prostor v délce cca 500 m. Záznamy odstřelů trhavin pořízené během rekonstrukce byly typické ostrým nasazením, rychle utlumeným projevem a vyššími frekvencemi kmitání (např. Kaláb a Knejzlík, 2004). Největší zaznamenaná

složková amplituda rychlosti kmitání dosáhla hodnoty $0,17 \text{ mm.s}^{-1}$ (měření na seizmickém pilíři, nikoliv v nejmenší vzdálenosti). Provedeme-li srovnání této maximální složkové amplitudy rychlosti kmitání s amplitudou nejintenzivnějšího zemětřesení z roku 2008, tj. hodnota $0,43 \text{ mm.s}^{-1}$, byla během seizmického roje naměřena hodnota cca 3-krát větší. Je však třeba mít na paměti, že seizmické zatížení není úplně srovnatelné, neboť vyvolané vibrace mají rozdílný charakter, a to především dobu trvání a frekvenční rozsah, také rozložení zatížení od blízkého zdroje je značně proměnné.

Významnější vibrace jsou vyvolávány průjezdem vozidel po komunikaci nad Starými důlními díly. Průjezd vozidel vyvolává slabé rezonanční vibrace (složkové hodnoty jen do $5 \cdot 10^{-2} \text{ mm.s}^{-1}$; popis experimentálního měření tohoto jevu je uveden v článku Kalába et al. (2010). Původ těchto rezonančních vibrací zatím není spolehlivě ověřen, spekuluje se o vlivu dnes neznámé podzemní prostory. Povrchový geofyzikální průzkum již některé neznámé prostory lokalizoval (Beneš, 2011).

V důlním díle bylo provedeno několik měření autonomními aparaturami sledujících velikost vibrací vyvolaných technologickými pracemi v důlním díle. Šlo především o odstřely trhavin při rekonstrukci důlního díla (např. Kaláb, Lednická, 2006). Dále proběhla například měření při realizaci vrtů pro měření změn napětí v masivu. S výjimkou efektu trhacích prací nebylo zjištěno zvýšené zatížení důlního díla, sledované konvergence a měření pohybu bloků masivu po puklinách neposkytlo žádné informace o tomto vlivu.

5 ZÁVĚR

Z pohledu hodnocení stability tohoto podzemního objektu, tj. historického důlního díla, je nutné vzít do úvahy také vliv seizmického zatížení. Analýza seizmického zatížení okolí Dolu Jeroným a jeho podzemních prostor byla zpracována při zahájení rekonstrukčních prací na dědičné štolě Jeroným v roce 2003. Ze studií vyplynulo, že dílo může být ovlivněno intenzivnějšími zemětřeseními z kraslické oblasti, technická seismocita zde bude na velmi nízké úrovni. Při rekonstrukci díla je však nutno pečlivě sledovat vyvolané vibrační projevy. Tyto vibrace mohou nabývat i vyšších hodnot, především vibrace vzniklé při provádění trhacích prací. Nejvýznamnější seizmické zatížení na popisované lokalitě představují lokální zemětřesení z nedaleké kraslické oblasti. Dosud nejintenzivnější projev byl zaznamenán při seizmickém roji v roce 2008 (složková hodnota rychlosti kmitání dosáhla $0,435 \text{ mm.s}^{-1}$).

PODĚKOVÁNÍ

Příspěvek byl zpracován za částečné finanční podpory GAČR, projekt č. 103/09/2007 „Vliv technické a přírodní seismicity na statickou spolehlivost a životnost staveb. Data byla získána v rámci projektu GAČR 105/09/0089 „Prognóza časoprostorových změn stability důlních prostor technické památky Důl Jeroným v Čisté“.

LITERATURA

- [1] www.ig.cas.cz (internetový odkaz Geofyzikálního ústavu AVČR, v.v.i. Praha)
- [2] BERAN, P., JANGL, L., MAJER, J., SUČEK, P., OTFRIED, W. *1000 let hornictví cínu ve Slavkovském lese*. Okresní muzeum Sokolov, 1995. 195 pp.
- [3] BENEŠ, V. Geofyzikální průzkum nad Dolem Jeroným. *EGRSE*, 2011, XVIII. 1, pp. 40-49. ISSN 1803-1447.
- [4] *EGRSE*, monotematické číslo časopisu, XVIII. 1, 2011. 119 pp. ISSN 1803-1447.
- [5] FISCHER, T., HORÁLEK, J., MICHÁLEK, J., BOUŠKOVÁ, A. The 2008-West Bohemia Earthquake Swarm in the Light of the WEBNET Network. *J. seismol.*, 2010, 14, pp. 665-682.
- [6] HORÁLEK, J., FISCHER, T., BOUŠKOVÁ, A., MICHÁLEK, J., HRUBCOVÁ, P.: The West Bohemian 2008-earthquake swarm: When, where, what size and data. *Stud. geophys. et geod.*, 2009, 53, No. 3, pp. 351-358. ISSN 0039-3169.
- [7] KALÁB, Z. Posouzení seismického zatížení středověkého Dolu Jeroným v České republice. *Acta Montanistica Slovaca*. 2003, Roč. 8(2003), č.1, Košice, Slovensko, pp. 36-41.

- [8] KALÁB, Z., KNEJZLÍK, J. Metodika posuzování seizmického zatížení historických důlních děl na příkladu Dolu Jeroným v Čisté. In *Sborník Hornická Příbram ve vědě a technice 2004*, CD, příspěvek T6.
- [9] KALÁB, Z., LEDNICKÁ, M. Interpretace seizmických záznamů trhacích prací prováděných ve štolě Jeroným v Čisté. *Transactions (Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava)*. 2006, Řada stavební, roč. VI, č.2/2006, 155-160. ISSN 1213-1962.
- [10] KALÁB, Z., KNEJZLÍK, J., KOŘÍNEK, R., ŽŮREK, P. Cultural Monument Jeroným Mine, Czech Republic – Contribution to the Geomechanical Stability Assessment. *Publs. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sc.*, 2006, M-29(395), pp. 137-146. ISSN 0138-015X.
- [11] KALÁB, Z., KNEJZLÍK, J., LEDNICKÁ, M. Seismic Loading of Underground Bridge above Medieval Mine. In *Transport and City Tunnels, 14-16 June 2010, Proceedings of the 11th international conference Underground Constructions Prague*. Praha: Czech Tunelling Association ITA/AITES, 2010. pp. 619-625. ISBN 978-80-254-7054-1.
- [12] KALÁB, Z., LEDNICKÁ, M., KNEJZLÍK, J. Měření a analýza vibrací v Dole Jeroným. *EGRSE*, 2011, XVIII.1, pp. 50-61. ISSN 1803-1447.
- [13] KNEJZLÍK, J. Distribuovaný systém pro monitorování v Dole Jeroným v Čisté. *Transactions (Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava)*. 2006, Řada stavební, roč. VI, č.2/2006, 181-187. ISSN 1213-1962.
- [14] KNEJZLÍK, J., KALÁB, Z. Seismic Recording Apparatus PCM3-EPC. *Publs. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sc.*, 2002, M-24(340), pp. 187-194. ISBN-83-88765-12-4.
- [15] KNEJZLÍK, J., RAMBOUSKÝ, Z. Recent Solution of the Distributed Control and Measurement System in the Jeroným Mine – Modular System. *Acta Geodyn. Geomater.* 2008, Vol. 5, No. 2(150), pp. 205-212. ISSN 1214-9705.
- [16] TOMÍČEK, R. *Důl Jeroným Čistá (Hieronymus Zeche – Lauterbach)*. Montánně historický průzkum, Horní Slavkov, 2010, nepublikováno, 59 pp. + přílohy.
- [17] ŽŮREK, P. et al. *Geomechanická stabilita kulturní památky Důl Jeroným – Čistá, okr. Sokolov*. Odborný báňský posudek, VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2001, nepublikováno, 47 pp. + přílohy.
- [18] ŽŮREK, P., KOŘÍNEK, R., KALÁB, Z., HRUBEŠOVÁ, E., KNEJZLÍK, J., DANĚK, T., KUKUTSCH, R., MICHALÍK, P., LEDNICKÁ, M., RAMBOUSKÝ, Z. *Historický Důl Jeroným v Čisté. Monografie*. 2008, VŠB – TU Ostrava a Ústav geoniky AVČR, v.v.i. Ostrava, 82 pp. ISBN 978-80-248-1757-6.

Oponentní posudek vypracoval:

Doc. RNDr. Pavel Bláha, DrSc., GEOtest, a.s., Brno.

RNDr. Vojtěch Beneš, G Impuls Praha spol. s r.o., Praha.